

Vorwort

Die Grundlagen der Ingenieure müssen mit denen der Physiker übereinstimmen. Wenn es Unterschiede zwischen diesen Bereichen gibt, sind diese allein eine Folge der unterschiedlichen Herkunft der Probleme. Unberührt davon sollten die angewandten Methoden, Denk- und Arbeitsweisen in beiden Bereichen stets naturwissenschaftlich geprägt sein.

Diese Einheitlichkeit der Methoden ist insbesondere in der heutigen Ausbildung der Ingenieure immer weniger zu finden. Ursache ist die immer umfangreichere Vermittlung von technischem Detailwissen, die grundlegende Vorgehensweisen schon aus Zeitgründen in den Hintergrund verschiebt.

Das Umtaufen des Ingenieurwesens in Ingenieurwissenschaft lässt ahnen, dass die Ingenieure bewusst oder unbewusst zumindest fühlen, dass sie vielen neuen Anforderungen allein mit Faktenwissen nicht gewachsen sind.

Wir selbst und viele unserer Kollegen mussten immer wieder erleben, dass eine sinnvolle Zusammenarbeit zwischen dem Ingenieurwesen und der Physik nicht wirklich gewollt wird. Diese nicht nachvollziehbare narzisstische Angst vor Offenbarung fehlender oder nicht verstandener Kenntnisse scheint dies zu verhindern. In diesem Dilemma präferieren vor allem Manager im Ingenieurbereich immer mehr den Einsatz von Computern. Wir leben in einer Zeit der fleißigen Computerrechner und der umso fauleren Denker.

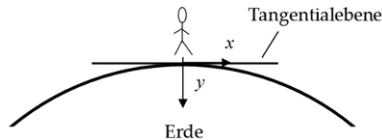
Die hier geäußerten kritischen Anmerkungen sollen aber nicht abschreckend wirken, sondern zu einem gemeinsamen Weg motivieren, der von unseren Urvätern (Galilei, Newton) erfolgreich eingeleitet wurde, den es konsequent fortzusetzen gilt.

Es muss die Kompetenz erhalten bleiben, um Computerergebnisse und deren Sinnhaftigkeit überhaupt beurteilen zu können.

Um den Weg der Urväter fortsetzen zu können, muss man auch kein übertriebener Mathematikfreak werden. Hier geht es um geschickte Denkweisen und deren Handhabung ohne verkünstelte Mathematik. Etwa Methoden wie die altbekannten Reihenentwicklungen nach Taylor oder Laurent sind zu nutzen, die für alle Probleme mit hinreichender Stetigkeit angewendet werden können, die viel zu wenig Beachtung finden und auch von den heutigen Mathematiklehrern für technologische Anwendungen nicht verständlich genug mitgeteilt werden.

Etwa diese Reihenentwicklungen und andere Möglichkeiten, die schon von unseren Urvätern genutzt wurden, die aber im Zeitalter des oft undifferenzierten Einsatzes von Computern nicht mehr präsent sind, gehen mit der überbordenden Vermehrung des Faktenwissens verloren. Die Neugierde für einfache Sachverhalte, die Fähigkeit zur Wissensbeschaffung, die zudem zeit- und kostenoptimal gestaltet werden kann, muss neu belebt werden. Dies ist das Hauptziel des vorliegenden Buches.

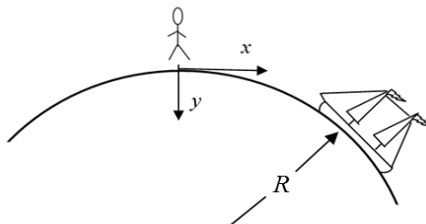
Wenn der Mensch seine Umgebung in Augenschein nimmt (Blick in seine Umgebung bis zum Horizont), sieht er die ihn umgebende Tangentialebene. Dies hat historisch zur Scheibenvorstellung der Erde geführt, die auch heute noch zumindest literarisch in manchen Köpfen spukt. Diese Tangentialebene wird mit der ersten Ableitung der Taylorentwicklung beschrieben.



$$\text{Taylor: } y = y(0) + y'(0)x + (1/2)y''(0)x^2 + \dots$$

$$\text{mit } y(0) = 0, \quad y'(0) = 0 \rightarrow y(x) = 0: \text{ Tangentialebene}$$

Am Meer kann dann eine weiterführende Beobachtung gemacht werden. Von einem Schiff, das jenseits des Horizonts in Richtung des Beobachters fährt, werden zuerst dessen Mast und Segel sichtbar, bevor auch das Schiff insgesamt gesehen werden kann. Hieraus erkennen wir die Krümmung der Erdoberfläche, die auch durch den Blick in die Vertikalebene (Mond, Sonne,...) mit sichtbaren konvexen Strukturen, (Mond- und Sonnenfinsternis,...) in Einklang steht, der von der historischen Scheibenvorstellung in die heutige Realität geführt hat.



$$\text{Taylor: } y = y(0) + y'(0)x + (1/2)y''(0)x^2 + \dots$$

$$\text{mit } y(0) = 0, \quad y'(0) = 0, \quad y''(0) = \frac{1}{R} \rightarrow y(x) = \frac{1}{R} \frac{x^2}{2}: \text{ Krümmung der Erde}$$

Mit der Abweichung von der Tangentialebene, die mit der zweiten Ableitung der Taylorentwicklung beschrieben wird, können wir uns auch verborgene Dinge unterhalb des Horizonts vorstellen und erklären.

Diese anschaulichen Beobachtungen aus unserer Umwelt lassen sich mathematisch mit Reihenentwicklungen fassen, die sich methodisch angewandt für einfache von allem Ballast befreite Zusammenhänge zur Beschreibung technologischer Probleme nutzen lassen.

Diese Reihenentwicklungen sind ein Grundelement, das im Rahmen des vorliegenden Buches genutzt wird, das immer anwendbar ist, wenn die gesuchten kausalen Verknüpfungen zwischen Ursache und Wirkung stetig sind.

Arbeiten mit Wissen (Faktenwissen) ist etwas anderes als das Beschaffen von Wissen. Der Untertitel des Buches "Erkenntnis ohne Wissen" bezieht sich auf die Fähigkeit von der Beschaffung von Wissen, ohne dass dazu Faktenwissen benötigt wird. Nicht zu verschweigen ist hier die Existenz und die notwendige Nutzung des SI-Einheiten-Systems, um dessen Erstellung in der ganzen Welt mehr als zwei Jahrhunderte gerungen wurde. Die zur Erläuterung ausgewählten Beispiele decken den gesamten technologischen Bereich ab, der mit den sieben Dimensionen L, M, T, Θ, N, I, J des Internationalen Einheitensystems mit den zugehörigen Grundeinheiten m, kg, s, K, mol, A, cd beschreibbar ist. Gesucht ist jeweils die Präsentanz, die in möglichst einfacher Form den jeweiligen kausalen Zusammenhang zwischen der Zielgröße und den Einflussgrößen eines speziellen Problems beschreibt.

Angefangen mit der griechischen Philosophie bis hin zur modernen Physik wurde stets das Ziel verfolgt, die scheinbar unendliche Mannigfaltigkeit des Naturgeschehens auf wenige einfache Grundprinzipien und Zusammenhänge zurückzuführen. Die Wissenschaft im hier praktizierten Sinn einer Verknüpfung von Idee und Experiment begann erst mit Galilei (1564-1642), der somit als der Urvater des Ganzen in diesem Buch gesehen werden kann.

Unsere Welt besteht nur aus wenigen Grundbausteinen, mit denen sich alle Strukturen zusammensetzen lassen. Die Welt ist damit vergleichbar mit einem Legobaukasten. Die Anzahl der Grundelemente, die sich auch in der Anzahl der zum Messen verwendeten Grundgrößen widerspiegelt, ist sieben. Nur diese natürliche Beschränkung versetzt uns in die Lage, mit Hilfe weniger elementarer Grundkenntnisse zumindest die naturgesetzlichen Probleme in unserer Welt sicher lösen zu können. Die Vielzahl der aus diesen Grundelementen herstellbaren Strukturen ist dennoch mannigfaltig. Unverzichtbar dabei ist aber die Kreativität der Gestalter. Nur mit einer solchen im evolutionären Sinn vorhan-

denen Kreativität, die uns die Schöpfung mit auf den Weg gegeben hat, lassen sich immer wieder facettenartig neue Strukturen aus altbewährten Bausteinen erschaffen. Die Erschaffung folgt damit logischen Regeln und ist kein Zufallsprodukt. Das Konstruieren und Erschaffen ist somit reproduzierbar. Dies ist die alte Forderung und auch schlechthin die Definition der Naturwissenschaften. Es sind nur reproduzierbare Zusammenhänge zugelassen, die sich zu beliebigen Zeiten und an allen Orten wiederholen. Nur so ist die Einheitlichkeit der Methoden und Denkweisen zu wahren. Einmalige Erscheinungen gehören dagegen in die Welt der Geister und nicht in den Bereich der Naturwissenschaften. Bleibt anzumerken, dass alle noch nicht verstandenen Dinge, die noch nicht messbar und damit auch nicht reproduzierbar sind, dennoch nicht unwahr sein müssen [17].

Das grundlegende Werkzeug zur Wissensbeschaffung ohne Wissen ist das Π -Theorem, das auf der Dimensionshomogenität beruht. Erste Anwendungen der Idee der Dimensionshomogenität wurde unter dem Terminus Dimensionsanalyse bekannt, die insbesondere in der Strömungsmechanik betrieben wurde. Es war die Anfangszeit des Fliegens. Mit Hilfe der Potentialtheorie konnte man die Auftriebskräfte von Tragflügeln abschätzen, nicht aber deren Widerstand. Dies gelang erst viel später mit der Grenzschichtidee von Prandtl.

Darauf konnte die sich rasch entwickelnde Flugtechnik nicht warten. Es wurden deshalb Windkanäle aufgebaut. Diese Messungen im Windkanal an kleinen Modellen mussten dann aber auf das Original übertragen werden. Das Werkzeug war hier die Dimensionsanalyse in Form der Ähnlichkeitslehre, die Modellregeln zum Übertragen der Modellmessungen auf die Großausführung lieferte.

Ziel der Dimensionsanalyse war stets die Beschreibung des Zusammenspiels technologischer Größen, ohne vorab eine exakte Gesetzmäßigkeit zu kennen. Das Verfahren bedient sich einer mit den Dimensionen der beteiligten Größen verknüpften angewandten Mathematik, der praktischen Beobachtungsgabe, der Durchführung und Auswertung von Versuchen und setzt ein kreativ-intuitives naturwissenschaftliches Verständnis voraus.

Genau diese genannten Details sind die Ursache für die nicht leicht zu vermittelnden Fähigkeiten zur Durchführung eines solchen Verfahrens. Ein nicht mit dieser Vorgehensweise Vertrauter erlebt, dass bei jedem neuen Problem scheinbar immer neue Tricks angewendet werden müssen. Aus diesem Grund wird im vorliegenden Buch bei allen Beispielen aus den unterschiedlichsten Fachdisziplinen immer ganz bewusst auf eine gleichartige Handhabung und die Nutzung allein der SI-Einheiten geachtet, um diesem scheinbaren Dilemma pädagogisch gerecht werden zu können.

Es ist unglaublich, wie viele Fehler beim Anschreiben eines Zusammenhangs mit dimensionsbehafteten Größen und damit im Umgang mit Einheiten gemacht werden.

Hierzu eine Anekdote aus der Blütezeit der modernen Strömungsmechanik in Göttingen, die mit Prandtl (1875-1953) und seinem damaligen Mitarbeiter Görtler (1909-1987) verknüpft ist. Görtler kam zu Prandtl, um den Durchbruch seiner Arbeit mit dem Ergebnis einer neuen Formel zu zeigen. Prandtl warf einen kurzen Blick auf die Formel und sagte: Das ist nochmal zu überarbeiten, das kann nicht richtig sein. Ursache der Reaktion war eine der Dimensionshomogenität widersprechende Formel. Solche Situationen sind auch heute noch Alltag, mit denen man Studenten geradezu verblüffen kann. Die Gültigkeit einer Aussage in dimensionsbehafteten Größen ist durch eine Dimensionsbetrachtung leicht überprüfbar. Sind die Terme in einem beliebigen Zusammenhang von unterschiedlicher Dimension, ist sie trivialerweise falsch.

Die längerfristige Folge in Göttingen war, dass Görtler sich der Dimensionshomogenität intensiver näherte und schließlich 1975 sein Buch Dimensionsanalyse [1] veröffentlichte, in dem der damalige Wissensstand vereint und beweistechnisch dargestellt ist. Die mit Hilfe der Linearen Algebra geführten Beweise zur Existenz des Π -Theorems können dort nachgelesen und müssen hier nicht wiederholt werden.

Die alleinige Nutzung des Π -Theorems ist aber bei der Anwendung auf wirklichkeitsnahe komplexe technologische Probleme zu schwach, um für den Ingenieur wirklich hilfreich sein zu können. Es gibt nicht nur P1-Probleme, für deren Strukturierung und Präsentanz das Π -Theorem ausreichend ist. Industriell liegen PN-Probleme vor, für deren Lösung und Präsentanz zusätzliche Informationen zum Einsatz gebracht werden müssen. Es müssen die allein mit dem Π -Theorem erreichten Aussagen durch konsequentes Ausschöpfen mit Hilfe a priori bekannter Details einschließlich trivialster Informationen, die für jedes spezielle technologische Problem prinzipiell vorliegen, so verschärft werden, dass diese auch industriell nutzbar sind. Das Erreichen dieser industriellen Nutzbarkeit ist das Hauptziel des vorliegenden Buches. Die Bereitstellung und die konsequente Nutzung aller speziellen Informationen ist die Sache des Ingenieurs, der sich mit einem ganz speziellen Problem beschäftigt. Nur dieser kann im Einzelfall die notwendigen Detailinformationen zusammentragen und zum Einsatz bringen. Hier ist das ganze Arsenal des Ingenieurs (Arbeitspunkt, Lösungsäste, Grenzfälle, Asymptoten, Schlankheit, Linearität, Symmetrien, Rand- und Anfangswerte, problemspezifische Besonderheiten) gefordert.

Die Kreativität des heutigen Menschen ist infolge der allgegenwärtigen Verfügbarkeit der Computer im Allgemeinen rückläufig. Wir bauen schon lange keine

wirklich neuen Flugzeuge, Raketen und Autos. Wir können lediglich in kürzester Zeit diese Geräte in einer atemberaubenden Menge und Detailhaftigkeit erzeugen. Diese Situation ist natürlich nicht den Computern anzulasten, sondern den Menschen, die diese bedienen.

Wie schon zuvor angemerkt, muss die Kompetenz erhalten bleiben, um Computerergebnisse und deren Sinnhaftigkeit überhaupt beurteilen zu können. Deshalb kann auf kreative Menschen gerade in einer Welt, in der das produzierende Gewerbe schon heute computerdominiert ist, nicht verzichtet werden.

Die Einheitlichkeit der Methoden und Denkweisen muss in der Hand kreativer Menschen bleiben. Deshalb sollten Arbeitsweisen wie die Π -Theorem Methodik weiter verfolgt und intensiv fortentwickelt werden. Insbesondere die für die industrielle Nutzung erforderliche Verschärfung und Ausschöpfung werden im vorliegenden Buch ausführlich dargestellt. Eine umfangreiche Aufgabensammlung einschließlich der Lösungen am Ende des Buches steht dem Leser zum Erlernen der erforderlichen Handhabungen zur Verfügung.

Neben den Grundproblemen der Π -Theorem Methodik (Vollständigkeit des Datensatzes, Messergebnisse als Wolke oder Struktur, reguläre oder singuläre Matrix) und der bereits besprochenen Steigerung der Effizienz durch Ausschöpfung wird auch auf die Vermehrung der Π -Kennzahlen bei Problemen mit variablen Stoffkonstanten eingegangen und auf weitere facettenreiche Anwendungsmöglichkeiten hingewiesen. Insbesondere mit der additiven Verknüpfung von Grenzfällen (Einbettung) können mit der Π -Theorem Methodik auch komplexere Zusammenhänge wie etwa die Bernoullische Gleichung ohne Detailwissen beschafft werden. Neben der Ähnlichkeitslehre zur Übertragung von Modellmessungen auf die Großausführung, die früher meist allein Inhalt der Dimensionsanalyse war, kommt die Π -Theorem Methodik heute im gesamten naturwissenschaftlichen Bereich zur Anwendung. Das Spektrum der überwiegend technisch orientierten Beispiele wurde deshalb durch die Hinzunahme von Beispielen aus dem biologischen Bereich (Allometrie) und Erweiterungen zur Beschreibung etwa des Laufens eines Menschen vervollständigt.

Die heute auf Gewinnmaximierung ausgerichtete Welt fördert das Spezialistentum. Das Faktenwissen der Menschheit vermehrt sich geradezu explosionsartig und das technologische Detail veraltet in einem nie zuvor dagewesenen Tempo. Der Nur-Spezialist wird in dieser Welt zum Gefangenen seines Faktenwissens. Sein Leben wird von einem einzigen Datensatz beherrscht, der extrem eingeschränkt ist. Der Nur-Spezialist lebt im Sättigungszustand und wird systembedingt zum Fachidioten. Bis ein Student sein Faktenwissen gelernt hat, kann das Gelernte schon wieder veraltet und unbrauchbar geworden sein. Die längerfristige Zukunft erfordert den kreativ-intuitiven Menschen, der sowohl Generalist

als auch zugleich extremer Spezialist sein muss, der letztlich auch als Adressat des vorliegenden Buches gedacht ist.

In diesem Zusammenhang können unterschiedliche Fachgebiete auch als Teile von Reihenentwicklungen gesehen werden. Reihenentwicklungen können aber auch zur Beurteilung von historisch gewachsenen Strukturen und deren Arbeitspunkte genutzt werden, die eng mit den Kosten und dem Zeitaufwand bei der Produktion verknüpft sind, die auch Impulse zur Rationalisierung liefern können. Man stelle sich eine Maschine vor, die zu einem Anfangszeitpunkt entwickelt und im Laufe der Zeit immer wieder an neue Herausforderungen angepasst wurde. Mathematisch bedeutet dies, dass das jeweils aktuelle System mit immer mehr Gliedern einer Reihenentwicklung belastet ist. Einer konkurrierende Maschine gleicher Funktion, die neu entwickelt auf den Markt gebracht wird, hängen nicht all diese Glieder aus der Vergangenheit an, die konkret mit vielen unnützen Teilen bei der Fertigung verknüpft sind, die sich im Laufe der Zeit kumuliert haben.

Auch die übergeordnete ökonomische Effizienz im monetär-technologischen Wechselspiel innerhalb eines Unternehmens ist Gegenstand des Buches. Es werden die Konflikte infolge des Informationsverlusts bei der Abbildung technologischer Größen auf die nur unzureichend repräsentative Vergleichsgröße Geld aufgezeigt, die als elementare Ursache für Fehlentwicklungen in Unternehmen zu deuten ist.

Das Buch schließt mit einem Kapitel über die Naturkonstanten, die mit den Dimensionen des SI-Systems korreliert sind. Mit den Naturkonstanten, die ebenso wie die Π -Kennzahlen Produkte bzw. Quotienten physikalischer Größen sind, wird die Universalität des Gesamtkomplexes Dimensionshomogenität sichtbar. Insbesondere die Tatsache der Nichtwidersprüchlichkeit dieser Naturkonstanten zeigt uns im Rückblick, dass das ganze Gebäude der Dimensionshomogenität in sich widerspruchsfrei geschlossen ist.

Bei der Erstellung dieses Buches sind die Erfahrungen der Arbeitsgruppe von Ernst Becker im ehemaligen Fachbereich Mechanik an der damaligen Technischen Hochschule und heutigen Universität Darmstadt und insbesondere die Gedanken von Hans Buggisch und Stefan Sponagel eingegangen.

Für das Schreiben und Lesen des Manuskripts danken wir ganz herzlich Jutta Unger und ebenso Jochen Unger für die digitale Unterstützung und die zahlreichen Diskussionen der technologisch-monetären Inhalte.

Dimensionshomogenität

Erkenntnis ohne Wissen?

Unger, J.; Leyer, S.

2015, XVIII, 189 S. 126 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-658-05411-3